

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-065719

(43)Date of publication of application : 05.03.2002

(51)Int.Cl.

A61F 9/007

(21)Application number : 2000-268437

(71)Applicant : NIDEK CO LTD

(22)Date of filing : 31.08.2000

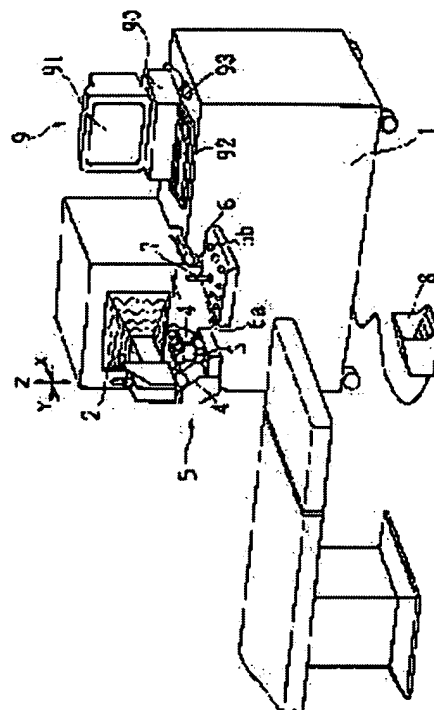
(72)Inventor : NAKAMURA HIROTSUGU

## (54) CORNEA OPERATION DEVICE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a cornea operation device capable of performing an operation properly by improving correcting precision by the removal of a cornea.

**SOLUTION:** The cornea operation device for removing the cornea by laser beams is provided with an arithmetic means for calculating the removing quantity of the cornea based on the ametropia of an eye to be examined and dividing the removing quantity into the steps of plural times for obtaining the removing quantities at the respective steps, a controlling data deciding means for deciding the controlling data of the device at the respective steps based on the respective removing quantity, a cornea shape measuring means having an image forming optical system for forming an index for measuring the shape of the cornea on the cornea, an image pickup optical system for picking up the index image formed on the cornea and a shape arithmetic means for processing the picked-up image to detect the index image to obtain the shape of the cornea, and a correction means which compares an actually removing quantity at the step with a planed removing schedule based on the shape of the cornea measured after finishing irradiation with laser at a step by using the cornea shape measuring means and correcting controlling data at the next step based on the comparison.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

02.07.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-65719

(P2002-65719A)

(43) 公開日 平成14年3月5日(2002.3.5)

(51) Int.Cl.

識別記号

F I

テ-マ-ト(参考)

A 6 1 F 9/007

A 6 1 F 9/00

5 1 0

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2000-269437(P2000-269437)

(22) 出願日 平成12年8月31日(2000.8.31)

(71) 出願人 000135184

株式会社ニデック

愛知県蒲郡市梁町7番9号

(72) 発明者 中村 拓也

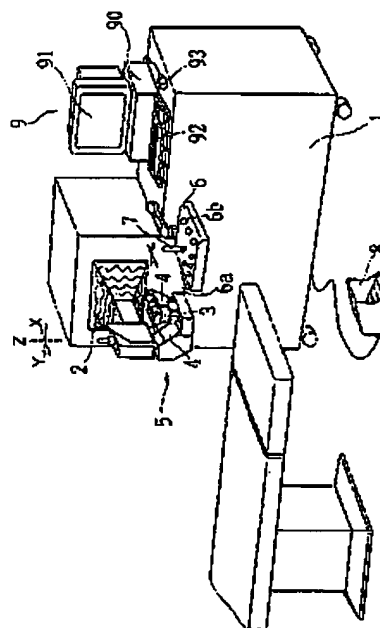
愛知県蒲郡市拾石町前浜34番地14 株式会社ニデック拾石工場内

(54) 【発明の名称】 角膜手術装置

(57) 【要約】

【課題】 角膜切除による矯正精度を向上させ、より適切に手術を行える角膜手術装置を提供すること。

【解決手段】 レーザ光によって角膜を切除する角膜手術装置において、被検眼の屈折異常に基づいて角膜の切除量を演算し、かつ切除量を複数回のステップに分割し、各ステップでの切除量を求める演算手段と、各切除量に基づいて各ステップでの装置の制御データを求める制御データ決定手段と、角膜形状測定用の指標を角膜上に結像する結像光学系、角膜に形成された指標像を撮像する撮像光学系、及び撮像された画像を処理して指標像を検知して角膜の形状を得る形状演算手段とを有する角膜形状測定手段と、該角膜形状測定手段を使ってあるステップのレーザ照射終了後に測定された角膜形状に基づいてそのステップでの実切除量と予定切除量を対比し、その対比に基づいて次のステップの制御データを修正する修正手段と、を備える。



(2)

特開2002-65719

1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光によって角膜を切除する角膜手術装置において、被検眼の屈折異常に基づいて角膜の切除量を演算し、かつ切除量を複数回のステップに分割し各ステップでの切除量を求める演算手段と、各切除量に基づいて各ステップでの装置の制御データを求める制御データ決定手段と、角膜形状測定用の指標を角膜上に結像する結像光学系、角膜に形成された指標像を撮像する撮像光学系、及び撮像された画像を処理して指標像を検出して角膜の形状を得る形状演算手段とを有する角膜形状測定手段と、該角膜形状測定手段を使ってあるステップのレーザ照射終了後に測定された角膜形状に基づいてそのステップでの実切除量と予定切除量を対比し、その対比に基づいて次のステップの制御データを補正する補正手段と、を備えることを特徴とする角膜手術装置。

【請求項2】 請求項1の角膜手術装置において、前記角膜形状測定用の指標はスリット光による指標であり、前記角膜形状測定手段は結像光学系を角膜に対して距離方向に所定ステップで移動させる手段と、各移動位置で角膜に形成されたスリット指標を前記撮像光学系により撮像する手段を備えることを特徴とする角膜手術装置。

【請求項3】 請求項1の角膜手術装置において、前記角膜形状測定用の指標を格子パターンとしたことを特徴とする角膜手術装置。

【請求項4】 請求項1の角膜手術装置において、前記結像光学系は角膜に対する装置の距離方向をアライメントするためのアライメント光学系として兼用されることを特徴とする角膜手術装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レーザ光により患者眼角膜を切除（アブレーション）して患者眼の屈折矯正を行う角膜手術装置に関する。

【0002】

【従来技術】エキシマレーザを用いて患者眼角膜を切除し、角膜の屈折力を変化させて近視、遠視、乱視等の屈折異常を矯正するレーザ角膜手術装置が知られている。この屈折矯正手術では、角膜上皮を削いだ後にレーザ照射を行うPRK手術（photorefractive keratectomy）と、角膜上皮から実質に至る部分を層状に切開してフラップを形成し、その後にレーザ照射によって実質を切除し、再びそのフラップを戻すLASIK手術（laser assisted in-situ keratomileusis）が行われている。

【0003】また、この種の装置による屈折矯正では、手術段階に入る前の角膜形状、矯正屈折力、光学領域の大きさ等の屈折矯正に関するデータから切除量が設定され、その切除量に基づいてレーザ照射が行われる。角膜形状の測定には、一般に、ブラチドリングを角膜に投影し、角膜での鏡面反射光を検出することで角膜形状を測定する装置が用いられており、この測定装置は手術装置

とは分離されたものである。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、鏡面反射光を利用した角膜形状測定では、レーザ照射直前（PRKでは角膜の上皮を削いだ後、LASIKではフラップを形成した後）、及びレーザ照射直後の形状を測定することができず、設定された切除量通りに角膜が切除されているか否かを知ることができなかった。このため、従来は、手術前後で屈折力測定を行うことで手術の適否を判断し、所期する矯正が行われていない場合は、患者眼の回復を待って再手術を行っていた。これは患者にとって負担となる。

【0005】本発明は、上記従来技術の問題点に鑑み、角膜切除による矯正精度を向上させ、より適切に手術を行える角膜手術装置を提供することを技術課題とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は以下のような構成を備えることを特徴とする。

【0007】（1） レーザ光によって角膜を切除する角膜手術装置において、被検眼の屈折異常に基づいて角膜の切除量を演算し、かつ切除量を複数回のステップに分割し各ステップでの切除量を求める演算手段と、各切除量に基づいて各ステップでの装置の制御データを求める制御データ決定手段と、角膜形状測定用の指標を角膜上に結像する結像光学系、角膜に形成された指標像を撮像する撮像光学系、及び撮像された画像を処理して指標像を検出して角膜の形状を得る形状演算手段とを有する角膜形状測定手段と、該角膜形状測定手段を使ってあるステップのレーザ照射終了後に測定された角膜形状に基づいてそのステップでの実切除量と予定切除量を対比し、その対比に基づいて次のステップの制御データを補正する補正手段と、を備えることを特徴とする。

【0008】（2） （1）の角膜手術装置において、前記角膜形状測定用の指標はスリット光による指標であり、前記角膜形状測定手段は結像光学系を角膜に対して距離方向に所定ステップで移動させる手段と、各移動位置で角膜に形成されたスリット指標を前記撮像光学系により撮像する手段を備えることを特徴とする。

【0009】（3） （1）の角膜手術装置において、前記角膜形状測定用の指標を格子パターンとしたことを特徴とする。

【0010】（4） （1）の角膜手術装置において、前記結像光学系は角膜に対する装置の距離方向をアライメントするためのアライメント光学系として兼用されることを特徴とする。

【0011】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施例を図面に基いて説明する。図1はレーザビームにより角膜の屈折矯正を行う角膜手術装置の外観図である。

(3)

特開2002-65719

3

【0012】1は手術装置本体であり、エキシマレーザ光源等が内蔵されている。エキシマレーザ光源からのレーザ光は後述する本体1内のレーザ照射用光学系を通り、アーム部2に導かれる。アーム部2の内部はレーザ光の光路を待ち、ミラー等の光学素子が配置されている。アーム部2のアーム先端部5には、患者眼を観察するための双眼の顕微鏡部3、照明部4等が設けられている。

【0013】アーム部2は、図2に示すように、X方向アーム駆動部51により図1の方向（術者に対して左右方向）に、Y方向駆動部52によりY方向（術者に対して前後方向）に移動可能である。また、アーム先端部5はZ方向先端駆動部53によりZ方向（上下方向）に移動可能である。各駆動部51、52、53はモータやスライド機構から構成される。

【0014】6はコントローラであり、アーム部2をX、Y方向に駆動するための信号を与えるジョイスティック7や、Z方向のアライメントを行うためのフォーカス調整スイッチ6a、角膜形状の測定を開始するスイッチ6b等の操作スイッチを備える。8はレーザ照射信号を送るためのフットスイッチ、9は必要な手術条件の各種データ入力やレーザ照射制御データの演算、表示、記憶等を行うコンピュータである。コンピュータ9は、本体90、モニタ91、キーボード92、マウス93等により構成される。

【0015】手術装置本体1の光学系及び制御系の概略構成を図3に基づいて説明する。10は193nmの波長を持つエキシマレーザを出射するレーザ光源である。レーザ光源10から水平方向に出射されたレーザビームは、ミラー11、12により反射され、平面ミラー13でさらに90度方向に反射される。平面ミラー13はミラー駆動部14により図における矢印方向に移動可能であり、レーザビームをガウシアン分布方向に平行移動して対象物を均一に切除できる。この点は、特開平4-242644号に詳細に記載されているので、詳しくはこれを参照されたい。

【0016】15はイメージローテータであり、イメージローテータ駆動部16により中心光軸を中心にして回転駆動され、レーザビームを光軸周りに回転させる。17はミラーである。

【0017】18はアブレーション領域を円形に制限する可変円形アパーチャであり、アパーチャ駆動部19によりその開口径が変えられる。20はアブレーション領域をスリット状に制限する可変のスリットアパーチャであり、アパーチャ駆動部21により開口幅とスリット開口の方向が変えられる。22、23はビームの方向を変えるミラーである。24は円形アパーチャ18およびスリットアパーチャ20を患者眼の角膜E c上に投影するための投影レンズである。

【0018】25は193nmのエキシマレーザビーム

4

を反射して可視光を通過する特性を持つダイクロイックミラーであり、投影レンズ24を透過したレーザビームはダイクロイックミラー25により90°偏向されて角膜E cへと導光される。

【0019】ダイクロイックミラー25の上方には固視灯26、対物レンズ27、顕微鏡部3が配置される。30は顕微鏡部3の双眼光路の間に配置されたミラーであり、ミラー30の反射側光路には結像レンズ31、ミラー32、CCDカメラ33が配置されている。CCDカメラ33の出力は画像解析部34に接続されており、角膜形状の解析結果はコンピュータ9に入力される。

【0020】ダイクロイックミラー25の下方には、照明部4内に配置されるスリット投影光学系40a、40bが、対物レンズ27の光軸を挟んで左右対称に配置されている。このスリット投影光学系40a、40bは、アライメント光の投影光学系として使用する他、角膜形状測定用の指標を投影する測定光学系として兼用される。各スリット投影光学系40a、40bは、可視光を発する照明ランプ41a、41b、コンデンサレンズ42a、42b、十字スリットを持つスリット板43a、43b、投影レンズ44a、44bから構成される。スリット板43a、43bは、特に十字スリットでなく他形状のスリットでも良い。スリット板43a、43bは投影レンズ44a、44bに対して角膜E cと共役な位置関係にあり、その十字スリットの像は対物レンズ27の光軸上のピント位置に常に結像するようになっている。また、CCDカメラ33の撮像面も結像レンズ31により対物レンズ27の光軸上のピント位置と共役にされており、CCDカメラ33はスリット投影像の検出光学系として使用される。

【0021】50はレーザ光源10や各駆動部等を制御する制御部である。また、制御部50にはコンピュータ9、フットスイッチ8、コントローラ6が接続されている。

【0022】なお、実施形態では図示を省略したが、装置にはアイトラッキング機能（アライメント中やレーザ照射中に患者眼が動いた場合に、その動きを追従してレーザ照射位置を合せる機能）を搭載することが好ましい。これは本出願人による特開平9-149914号公報に記載したものを使用できる。

【0023】次に、本発明に係る装置の動作を説明する。ここでは近視の球面矯正を行うものとして説明する。

【0024】まず、矯正屈折力や切除領域の大きさ等の手術条件をコンピュータ9に入力する。コンピュータ9は入力されたデータに基づいて角膜切除量データを算出する。また、PRK手術を行う場合、術者はレーザ照射前に患者眼の角膜上皮を削いでおく処置を行う。

【0025】術者は、顕微鏡部3により患者眼の前眼部像を観察しながら、ジョイスティック7を操作してア

(4)

特開2002-65719

5

6

ム部2を移動して図示なきレチクルと瞳孔とが所定の関係になるようにXY方向のアライメントを行い、フォーカス調整スイッチ6aを操作してアーム先端部5を上下に移動し、2方向のアライメントを行う。

【0026】2方向のアライメントは、スリット投影光学系40a、40bによって投影されるスリット像を観察して、次のように行う。図3上の左側のスリット投影光学系40aからのスリット光の大部分は角膜Ecを通過するが、その一部は角膜Ecで散乱して顕微鏡部3を介して図4(a)の円弧状のスリットライン71aとして観察される。また、右側のスリット投影光学系40bからのスリット光も同様に、図4(a)の円弧状のスリットライン71bとして観察される。72は、スリットライン71a、71bの中心で直交するクロスラインである。いま、角膜Ecの頂点が顕微鏡部3のピント位置にあると、左からのスリットライン71aと右からのスリットライン71bは、図4(a)のように角膜頂点位置で重なる。しかし、角膜Ecがピント位置より遠い側にあると、図4(b)のように2本のスリットライン71a、71bは離れて見える。また角膜Ecが図2の上側、つまり近い側にあるときには図4(c)のように2本のスリットライン71a、71bが交差して見える。従って、図4(b)のように見えるときには、アーム先端部5を下降させ、図4(c)のように見えるときには、反対に、アーム先端部5を上昇させる。このようにして、図4(a)の状態になるように装置と角膜Ecとの距離を調整することによって、角膜Ec上に顕微鏡部3のピントを合わせることができる。

【0027】アライメントを完了させたら、コントローラ6のスイッチ6bを押して、レーザ照射前に角膜形状の測定を行う。好ましくは、図4(a)の状態を装置が検出して自動的に測定を開始するようにする。角膜上に形成されたスリットライン71a、71bはCCDカメラ33に撮像され、その画像は画像解析部34に入力される。また、制御部50の制御によってアーム先端部5がアライメント位置を基準として所定量ずつ上方向及び下方向に順次移動され、各移動毎にCCDカメラ33に撮像された画像が画像解析部34に入力される。

【0028】角膜上に形成されたスリットライン71a、71bによって角膜形状を測定する方法を説明する。いま、スリット投影光学系40a、40bからのスリットを平板上に投影したとする。平板が基準高さ位置(ピント位置)にあるときには、図5(a)のように2本のスリットライン71a、71bは中心軸線Lo上で一致する。平板が基準高さ位置より下方にあるときには、図5(b)のように2本のスリットライン71a、71bは中心軸線Loから離れる。このとき、中心軸線からの各スリットライン71a、71bの距離Qa、Qbは高さ方向の基準高さ位置からの高低差に比例して変化する。

【0029】このスリットを略球面である角膜上に投影すると、その形状は図6のように曲線となる。図6において、中心軸線Loとスリットライン71aの内側エッジとの間隔Qxを順次検出すれば、このときの形成されたスリットライン71a上の多数の点における角膜高さ情報が得られる。そして、角膜に対するスリット投影位置を上下させれば、先の図4(b)及び(c)で示した如く、スリットライン71a、71bの座標位置が変わるので、角膜上の各点での高さ情報を得ることが可能となる。なお、この算出においてはスリット投影位置を上下させるためのアーム先端部5の移動量を補正する。

【0030】このような原理を用い、画像解析部34でスリット画像が解析された後、コンピュータ9によって各座標の角膜高さ情報から角膜形状が求められる。なお、撮影画像には虹彩で散乱するスリット画像も含まれるが、角膜で散乱するスリット像との位置関係や輝度等の違いを基に画像処理により区別する。

【0031】角膜形状の測定後、フットスイッチ8を押してレーザ照射を行う。近視矯正では、円形アパーチャ18によりレーザビームを制限し、平面ミラー13を順次移動してレーザビームをガウシアン分布方向に移動する。そして、レーザビームが1面を移動し終わる(1スキャンする)ごとに、イメージローテータ15の回転によりレーザビームの移動方向を変更して(例えば、120度間隔の3方向)、円形アパーチャ18により制限された領域を略均一にアブレーションする。これを円形アパーチャ18の開口径の大きさを順次変えるごとに行うことにより、角膜の曲率半径を大きくする近視矯正が行える(特開平6-114083号公報を参照)。

【0032】ここで、本実施形態の装置では、レーザ照射を2段階に分けて行うようプログラムされている。例えば、1回目のレーザ照射は総予定切除量(矯正量)の内の7割を行うように設定されている。1回目のレーザ照射が終了したら、アライメントを行った後にスイッチ6bを押して、上記と同様に角膜形状を測定する。コンピュータ9はレーザ照射後の角膜形状を得ると、レーザ照射前の角膜形状からレーザ照射後の角膜形状を差引くことで1回目のレーザ照射による実際の切除量(実切除量)を求める。そして、1回目のレーザ照射で予定する切除量と実切除量とを比較し、その比較に基づいて2回目のレーザ照射で設定すべき予定切除量を算出する。このデータに基づいて2回目のレーザ照射の制御データが補正される。

【0033】2回目のレーザ照射における予定切除量の算出について説明する。総予定切除量をS1、1回目のレーザ照射時の予定切除量をS1'、その実切除量をS1''とすると、1回目のレーザ照射による切除誤差比Kは、

$$K = S1' / S1$$

で表される。

(5)

特開2002-65719

7

8

【0034】2回目のレーザ照射で切除されるべき量は  $S_t - S_1'$  であり、2回目のレーザ照射でも同じ切除誤差比  $K$  で誤差が発生するものとすれば、2回目に設定すべき予定切除量  $S_x$  は、

$$S_x = (S_t - S_1') / K$$

となる。

【0035】このようにして2回目のレーザ照射での予定切除量  $S_x$  が得られた後、再びフットスイッチ8を押すと、予定切除量  $S_x$  を切除するための補正された制御データがコンピュータ9から制御部50に送られ、制御部50によりレーザ光源10及び各駆動部が制御される。レーザ照射の制御は、予定切除量  $S_x$  から屈折力に換算して円形アパーチャ18の開口径をコントロールする方法で行う。あるいは、予定切除量  $S_x$  から各点の切除深度を調べ、それを円形アパーチャ18の開口径でコントロールする方法で行うこともできる。2回目のレーザ照射は、1回目のレーザ照射の誤差分を考慮しているので、設定した総予定切除量により近い手術を行うことができる。

【0036】2回目のレーザ照射後、再度アラメントをして角膜形状の測定を上記と同方法で行う。その結果をモニター91に表示することにより、手術の出来栄を確認することができる。ここで切除量（矯正量）が不足していれば、続けてレーザ照射を実行するようにしても良い。

【0037】以上の矯正手術においては、レーザ照射を2回より多くの段階に分割して行っても良く、その場合はある段階でのレーザ照射後に角膜形状の測定を行い、上記と同様な方法で次の段階でのレーザ照射制御データを補正していく。

【0038】以上、近視矯正について説明したが、乱視矯正、遠視矯正についても同様な考えで行うことができる。

【0039】また、上記ではPRKについて説明したが、LASIK手術の場合もフラップを剥いだ後のレーザ照射前後の角膜形状を上記同様に測定し、次のレーザ照射にフィードバックさせることができる。

【0040】また、上記の実施形態での角膜形状測定光学系は、対物レンズ27の光軸回りにスリット投影光学系40a、40bを回転する機構を設け、スリット投影の角度を所定ステップで順次変えながらスリット像を撮影することで角膜の全体形状を測定するようにしても良い。

【0041】また、角膜形状測定光学系は、アラメント光の投影光学系40a、40bと兼用せずに専用で設けても良く、次のようにすることもできる。図7において、100は指標投影光学系で、101は細かな格子パターン（ドット状の格子パターンも含む）が形成された

指標板であり、背後の照明光源102から指標板101を照明し、投影レンズ103によって対物レンズ27の光軸上のピント位置に格子パターンを結像する。指標検出用のCCDカメラ105は、対物レンズ27の光軸を挟んで指標投影光学系100と対称な光軸上に配置されており、角膜上に投影された格子パターンを撮影する。画像解析部34はCCDカメラ105で撮影した格子パターン間の距離の変化を検出することで角膜形状を測定する。こうした測定光学系では角膜の全面を1回の撮影画像から測定できる。また、図示を略したアラメントのスリット光がノイズとならないようにするために、測定時にはスリット投影光学系40a、40bの照明ランプ41a、41bを消灯する。あるいは、照明光源102を赤外光源とし、CCDカメラ105の前に可視光をカットするフィルタを設けて、赤外光での格子パターンを検出する構成としても良い。

【0042】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、角膜切除による矯正精度を向上させることができ、より適切に手術を行える。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態である角膜手術装置の外観図である。

【図2】X、Y方向アーム駆動部、Z方向先端駆動部の機構を示す図である。

【図3】本発明の実施形態である角膜手術装置の光学系及び制御系概略図である。

【図4】アラメント状態におけるスリットラインを説明する図である。

【図5】平板上に投影したスリットラインを説明する図である。

【図6】角膜上に投影したスリットラインを説明する図である。

【図7】角膜形状測定光学系の別の例を示す概略図である。

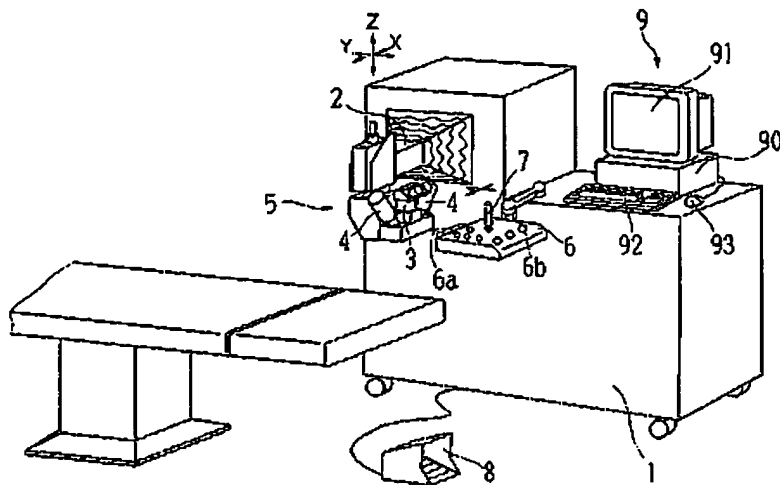
【符号の説明】

- 1 手術装置本体
- 3 顕微鏡部
- 9 コンピュータ
- 33 CCDカメラ
- 34 画像解析部
- 40a、40b スリット投影光学系
- 50 制御部
- 53 Z方向先端駆動部
- 71a、71b スリットライン
- 100 指標投影光学系
- 105 CCDカメラ

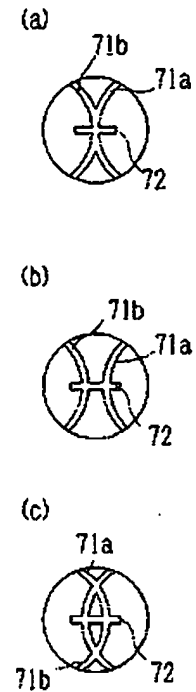
(6)

特開2002-65719

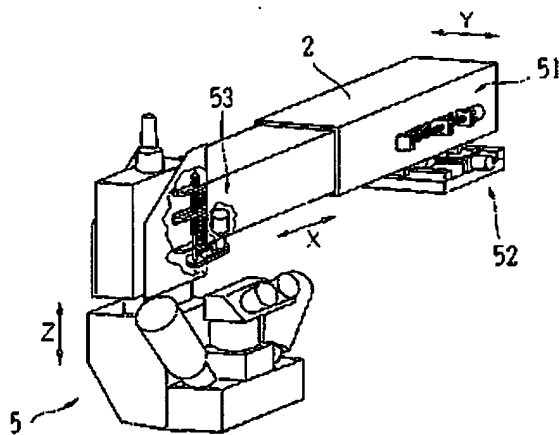
【図1】



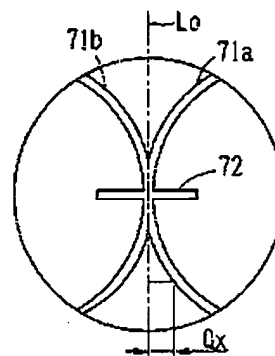
【図4】



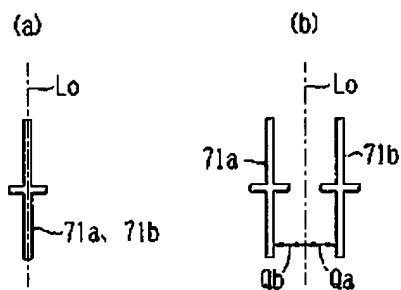
【図2】



【図6】



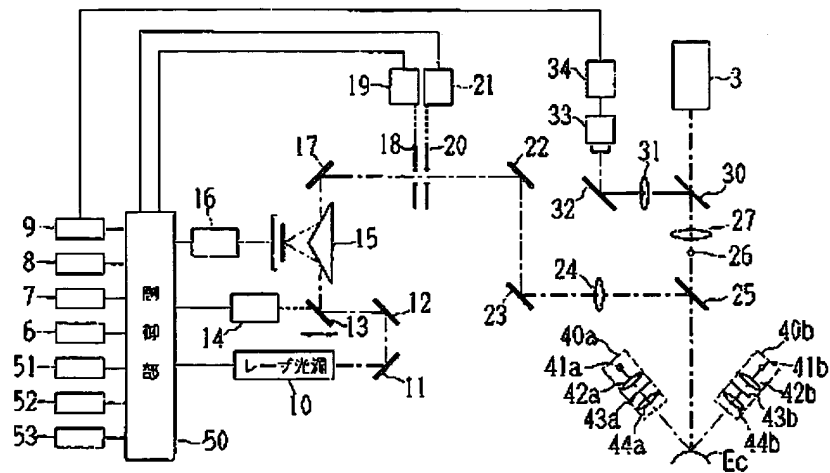
【図5】



(7)

特開2002-65719

【図3】



【図7】

